

539, 041

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
22. Juli 2004 (22.07.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/061987 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H01L 41/083**

Friedrich [DE/DE]; Kahlhieb 34, 70499 Stuttgart (DE). SCHOOR, Ulrich [DE/DE]; Tuchbleiche 5, 70439 Stuttgart (DE). SUGG, Bertram [DE/DE]; Friedrich-Schaffert-Str. 8, 70839 Gerlingen (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2003/003366

(22) Internationales Anmeldedatum:  
10. Oktober 2003 (10.10.2003)

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): CN, JP, US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 60 854.7 23. Dezember 2002 (23.12.2002) DE

Veröffentlicht:  
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

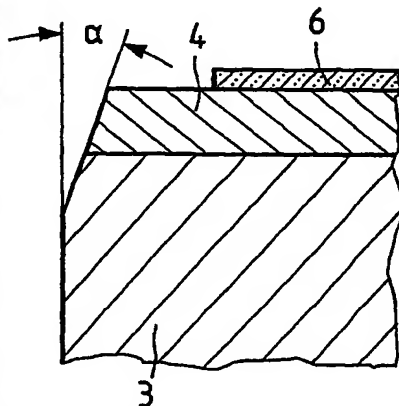
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, 70442 Stuttgart (DE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BOECKING,

(54) Title: PIEZO ACTUATOR

(54) Bezeichnung: PIEZOAKTOR



(57) Abstract: The invention relates to a piezo actuator, for example, for actuating a mechanical component, in which a multilayer structure consisting of piezo layers (2) and inner electrodes (3, 4) arranged therebetween are provided. A mutual contacting of the inner electrodes (3, 4) with outer electrodes (5, 6) is provided, and the piezo actuator (1) has chamfered corners or edges (10). In the area of the corners or edges (10) on the sides of the piezo actuator (1), on which the inner electrodes (3, 4) are led with alternating polarity to the respective outer electrodes (5, 6), the inner electrodes (3) have a contour that enables the generation of a reduced field intensity between the inner electrodes (3, 4) of a different polarity in the structure consisting of the piezo layers (2). This is achieved by virtue of the fact that the edge (10) on the side, which is not contacted by the outer electrodes (5, 6), has an obtuse angle ( $\alpha$ ) or is rounded.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils, vorgeschlagen, bei dem ein Mehrschichtaufbau von Piezolagen (2) und dazwischen angeordnete Innenelektroden (3, 4) vorhanden sind. Es ist eine wechselseitige Kontaktierung der Innenelektroden (3, 4) mit Aussenelektroden (5, 6) vorhanden und der Piezoaktor (1) weist gefaste Ecken oder Kanten (10) auf. Im Bereich der Ecken oder Kanten (10) an den Seiten des Piezoaktors (1), an den mit wechselnder Polarität die Innenelektroden (3, 4) zu den jeweiligen Aussenelektroden (5, 6) geführt sind, weisen die Innenelektroden (3) eine solche Kontur auf, dass eine verminderte Feldstärke zwischen den Innenelektroden (3, 4) unterschiedlicher Polarität im Aufbau der Piezolagen (2) herstellbar ist. Dies wird erreicht, indem die Kante (10) an der Seite, die nicht mit Aussenelektroden (5, 6) kontaktiert ist, einen stumpfen Winkel ( $\alpha$ ) aufweist oder gerundet ist.

WO 2004/061987 A2

## Piezoaktor

### Stand der Technik

Die Erfindung betrifft einen Piezoaktor, beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils wie ein Ventil oder dergleichen, nach den gattungsgemäßen Merkmalen des Hauptanspruchs.

Es ist allgemein bekannt, dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts ein Piezoelement aus zum Teil keramischem Material mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut werden kann. Bei Anlage einer äußeren elektrischen Spannung erfolgt eine mechanische Reaktion des Piezoelements, die in Abhängigkeit von der Kristallstruktur und der Anlagebereiche der elektrischen Spannung einen Druck oder Zug in eine vorgebbare Richtung darstellt. Solche piezoelektrischen Aktoren eignen sich insbesondere für den Einsatz bei schnellen und präzisen Schaltvorgängen, beispielsweise bei verschiedenen Systemen der Benzin- oder Dieseleinspritzung in Injektoren für Verbrennungsmotoren.

-2-

Der Aufbau dieser Piezoaktoren kann hier in mehreren Schichten als sogenannte Multilayer-Piezoaktoren erfolgen, wobei die Innenelektroden, über die die elektrische Spannung aufgebracht wird, jeweils zwischen den Schichten angeordnet werden. Hierzu werden wechselseitig gestapelte Piezofolien mit aufgedruckten Elektrodenflächen als Innenelektroden, hergestellt. Dabei hat eine Folie ihren Anschluss jeweils nur auf einer Anschlussseite und auf der gegenüberliegenden Seite muss ein Rand ohne Innenelektrode mit einem Isolationsabstand verbleiben. Außen werden dann die beiden Seiten durch Außenelektroden verbunden. So entsteht in an sich bekannter Weise der Piezoaktor wie ein Kondensator mit vielen Platten.

Solche bekannten Multilayer-Piezoaktoren haben überwiegend rechteckige Innenelektroden, die an den gegenüberliegenden Seiten, an denen die Anschlusspotentiale an die Oberfläche geführt sind, in der Regel stark angefasste Ecken aufweisen. Hier können dann teilweise beide Innenelektrodenpotentiale an der Oberfläche nebeneinander, mit einer Keramikschicht dazwischen, zu liegen kommen. Diese Piezoaktoren werden allerdings mit Feldstärken betrieben, die eine Isolation der offenen Kriechstrecken auf der Keramik zwischen den Potentialen erforderlich machen. Geeignete Lacke oder Isolierstoffe mit guter Haftung und guten Durchschlags- und Isolationswerten können beispielsweise durch Sprühen oder Tauchen in üblicher Weise aufgebracht werden.

Die zuvor beschriebenen Piezoaktoren mit den wechselseitig nach außen geführten Innenelektroden neigen oft zu Ausfällen in Bereichen, wo die Innenelektroden relativ spitze Winkel aufweisen. Da die Kanten am Piezoaktor in der Regel an der mechanisch weichen Piezokeramik gebrochen werden müssen, entstehen die oben beschriebenen, in einem Winkel von 45° gefassten Ecken. Treten dort Innen-

-3-

elektroden nach außen, so tritt aus den oben genannten Gründen eine erhöhte Kurzschlussgefahr auf. Da sich die elektrische Feldstärke umgekehrt quadratisch proportional zum Krümmungsradius der Äquipotenzialfläche verhält, treten dort außerordentlich hohe Feldstärken auf, was dann dazu führt, dass die Piezoaktoren in diesem Bereich durch Kurzschluss ausfallen.

Weiterhin ist zu beachten, dass an den scharfen Kanten wegen physikalischer Effekte keine ausreichende Isolationsdicke aufgebaut wird, d.h. der eventuell aufgetragene Isolationslack zieht sich zurück. Also wird an den Stellen, an denen durch den Eckeneffekt der erhöhten Feldstärke eigentlich die beste Isolation erforderlich ist, die geringste Isolationsdicke erzielt. Zwar wäre es möglich, um eine etwas größere Isolationslackdicke auf den Kanten zu erhalten, den Lack relativ dick aufzubringen, jedoch kann dies auf den Flächen mit zu dickem Lack teilweise zu Lackrissen führen.

Aus der DE 199 28 191 A1 ist für sich gesehen ein Multilayer-Piezoaktor bekannt, bei dem jeweils die Piezolage, die keine zu kontaktierende Innenelektrode trägt, einen vorgegebenen Bereich nach innen versetzt ist.

#### Vorteile der Erfindung

Der eingangs beschriebene Piezoaktor, der beispielsweise zur Betätigung eines mechanischen Bauteils verwendbar sein kann, ist mit einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen und dazwischen angeordneten Innenelektroden aufgebaut. Erfindungsgemäß weisen in vorteilhafter Weise im Bereich der Ecken oder Kanten an den Seiten des hier gefasteten Piezoaktors, an den mit wechselnder Polarität die Innenelektroden zu den jeweiligen Außenelektroden geführt

sind, die Innenelektroden eine solche Kontur auf, dass eine verminderte Feldstärke zwischen den Innenelektroden unterschiedlicher Polarität im Aufbau der Piezolagen herstellbar ist.

Gemäß einer ersten vorteilhaften Ausführungsform sind die Fasen an der Ecke des Piezoaktors so gestaltet, dass die Kante an der Seite, die nicht mit Außenelektroden kontaktiert ist, einen stumpfen Winkel aufweist. Durch die Realisierung eines stumpfen oder flachen Winkels an der Seite des Kantenbruches, an dem wechselseitige Elektroden nach außen gehen, können auf einfache Weise Feldspitzen am Piezoaktor in Bereichen von nach außen tretenden, sich über die Piezolage jedoch gegenüberliegenden Innenelektroden, vermieden werden. Damit wird das Risiko eines Kurzschlusses drastisch reduziert und somit die Zuverlässigkeit der Piezoaktoren erhöht.

Realisiert werden kann der stumpfe Winkel zum einen, indem die Elektrodenfläche durch die Außenkontur des Piezoaktors angepasst wird. Dies geschieht über die Formgebung im sogenannten Grünzustand des Piezoaktors vor dem Sintern oder durch eine Hartbearbeitung nach dem Sintern. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, über das Druckbild bei der Herstellung der Innenelektrode bereits einen stumpfen Winkel zu realisieren.

Nach einer zweiten vorteilhaften Ausführungsform sind die Fasen an der Ecke des Piezoaktors so gestaltet, dass zumindest die Kante an der Seite, die nicht mit Außenelektroden kontaktiert ist, abgerundet ist. Hierbei ist es auch vorteilhaft möglich, wenn die Fasen an der Ecke des Piezoaktors so gestaltet sind, dass die gesamte Ecke des Piezoaktors und korrespondierend dazu die Kontur der jeweils nicht kontaktierten Innenelektrode abgerundet ist. Andererseits ist auch möglich, dass auf einfache Weise die Fasen an der Ecke des Piezoaktors so gestaltet sind,

dass die gesamte Ecke des Piezoaktors nur abgeschrägt und die Kontur der jeweils nicht kontaktierten Innenelektrode abgerundet ist.

Vorteilhaft ist es außerdem, wenn gemäß einer Weiterbildung der Erfindung die Kontur der jeweils nicht kontaktierten Innenelektrode an der Seite der Kontaktierung der Innenelektrode der jeweils anderen Polarität so gestaltet ist, dass sie einen vorgegebenen Betrag von der Außenkontur des Piezoaktors zurückversetzt ist. Hierbei kann die Kontur der jeweils nicht kontaktierten Innenelektrode korrespondierend zur Außenkontur des Piezoaktors zurückversetzt sein.

Insbesondere mit dieser Ausführungsform kann auf einfache Weise sichergestellt werden, dass ausreichend Isoliermaterial zwischen der nicht kontaktierten Innenelektrode und der Oberfläche des Piezoaktors und somit letztlich zwischen den beiden Elektrodenpotenzialen, verbleibt. Die hohen Feldstärken führen nicht frühzeitig zu einem Durchschlagschaden, wobei die zusätzliche überdeckende und isolierende Keramikschicht hierbei ein Ersatz für eine ev. zu dünn ausfallende Lackschichten auf der Oberfläche ist.

Gemäß der Erfindung führen Beschädigungen und leichte Scheuerspuren an der Kante nicht mehr zwangsläufig zu Überschlügen und die Lackdicke auf der Oberfläche kann insgesamt reduziert werden und ist damit kaum noch rissgefährdet und macht Aktordehnungen leichter mit, ohne auf Dauer zu reißen. Außerdem haftet der Lack insgesamt besser an den erfindungsgemäß gestalteten Ecken und Kanten als an relativ scharfen Kanten.

### Zeichnung

Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Piezoaktors werden anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Figur 1 einen Schnitt durch einen Piezoaktor mit einem Mehrschichtaufbau von Lagen aus Piezokeramik und Elektroden nach dem Stand der Technik,

Figuren 2 und 3 jeweils Piezolagen mit Innenelektroden wechselnder Polarität mit angefasten Ecken,,

Figur 4 ein erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel eines Elektrodendesigns mit einem stumpfen Winkel im Bereich sich überdeckender Innenelektroden,

Figuren 5 und 5a ein zweites erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel eines Elektrodendesigns mit abgerundeten Kanten und

Figuren 6 und 6a ein weiteres erfindungsgemäßes Ausführungsbeispiel eines Elektrodendesigns mit nach innen versetzen abgerundeten Kanten.

### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In Figur 1 ist ein Piezoaktor 1 im Prinzip nach dem Stand der Technik gezeigt, der in an sich bekannter Weise aus Piezolagen bzw. Piezofolien 2 eines Quarzmaterials mit einer geeigneten Kristallstruktur aufgebaut ist, so dass unter Ausnutzung des sogenannten Piezoeffekts bei Anlage einer äußeren elektrischen Spannung an Innenelektroden 3 und 4 über Kontaktflächen bzw. Außenelektroden 5 und 6 eine mechanische Reaktion des Piezoaktors 1 erfolgt.

In Figur 2 ist eine angefaste Piezolage 2 gezeigt, mit der Innenelektrode 3, die mit der Außenelektrode 5 kontaktiert ist. Im Bereich der Kontaktierung der anderen

-7-

Innenelektrode 4, die aus Figur 3 erkennbar ist, wird auf der linken Seite des Piezoaktors 1 nach der Figur 2 ein Winkel  $\alpha$  der angefasten Ecke mit der Kante 10 verdeutlicht. Da, wie in der Beschreibungseinleitung bereits erwähnt, die Kanten am Piezoaktor 1 üblicherweise in einem Winkel von 45° gefast sind, tritt dort an der Ecke 10 eine erhöhte Kurzschlussgefahr auf.

Das erfindungsgemäße Ausführungsbeispiel nach Figur 4 weist im Unterschied zur Darstellung nach der Figur 3 einen stumpfen Winkel mit dem Komplementwinkel  $\alpha < 45^\circ$  auf, so dass hier Feldspitzen am Piezoaktor 1 in Bereichen von nach außen tretenden, sich über die Piezolagen 2 jedoch gegenüberliegenden Innenelektroden 3 und 4 vermieden werden.

Das Elektrodendesign des Ausführungsbeispiels nach Figur 5 und 5a besteht darin, dass die Innenelektrode 3 derart ausgestaltet ist, dass sie tangential zur Außenfläche des Piezoaktors 1 mündet. Die Innenelektrode 3 ist hier um einen Mittelpunkt M2 mit dem Radius R2 gekrümmt. Dabei kann die Außenkontur des Piezoaktors 1 ebenfalls gekrümmt sein und nach der Figur 5a kann die Innenelektrode 3 auch mit der Außenkontur gekrümmt sein. Beispielhaft ist dies in der Figur 5 durch eine Krümmung mit dem Mittelpunkt M1 und dem Radius R1 dargestellt.

Bei einer Alternative nach Figur 6 kann die äußere Kontur der Innenelektroden 3 und 4 auch geradflächig ausgeformt sein und die hier nicht kontaktierte Innenelektrode 3 nach der Figur 6 kann gemäß Figur 6a auch korrespondierend nach innen versetzt sein.



Patentansprüche

## 1) Piezoaktor, mit

- einem Mehrschichtaufbau von Piezolagen (2) und dazwischen angeordneten Innenelektroden (3,4), mit
- einer wechselseitigen Kontaktierung der Innenelektroden (3,4) mit Außenelektroden (5,6) und mit gefasteten Ecken oder Kanten (10) am Piezoaktor (1), **dadurch gekennzeichnet**, dass
- im Bereich der Ecken oder Kanten (10) an den Seiten des Piezoaktors (1), an den mit wechselnder Polarität die Innenelektroden (3,4) zu den jeweiligen Außenelektroden (5,6) geführt sind, die Innenelektroden (3) eine solche Kontur aufweisen, dass eine verminderte Feldstärke zwischen den Innenelektroden (3,4) unterschiedlicher Polarität im Aufbau der Piezolagen (2) herstellbar ist.

2) Piezoaktor nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Fasen an der Ecke des Piezoaktors (1) so gestaltet sind, dass die Kante (10) an der Seite, die nicht mit

Außenelektroden (5,6) kontaktiert ist, einen stumpfen Winkel ( $\alpha$ ) aufweist.

3) Piezoaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Fasen an der Ecke des Piezoaktors (1) so gestaltet sind, dass zumindest die Kante (10) an der Seite, die nicht mit Außenelektroden (5,6) kontaktiert ist, abgerundet ist.

4) Piezoaktor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Fasen an der Ecke des Piezoaktors (1) so gestaltet sind, dass die gesamte Ecke des Piezoaktors (1) und korrespondierend dazu die Kontur der jeweils nicht kontaktierten Innenelektrode (3) abgerundet ist.

5) Piezoaktor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Fasen an der Ecke des Piezoaktors (1) so gestaltet sind, dass die gesamte Ecke des Piezoaktors (1) abgeschrägt und die Kontur der jeweils nicht kontaktierten Innenelektrode (3) abgerundet ist.

6) Piezoaktor nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass

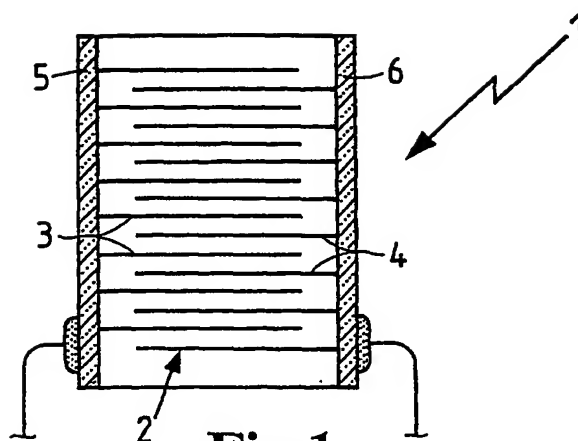
- die Kontur der jeweils nicht kontaktierten Innenelektrode (3) an der Seite der Kontaktierung der Innenelektrode (4) der jeweils anderen Polarität so gestaltet ist, dass sie einen vorgegebenen Betrag von der Außenkontur des Piezoaktors (1) zurückversetzt ist.

-10-

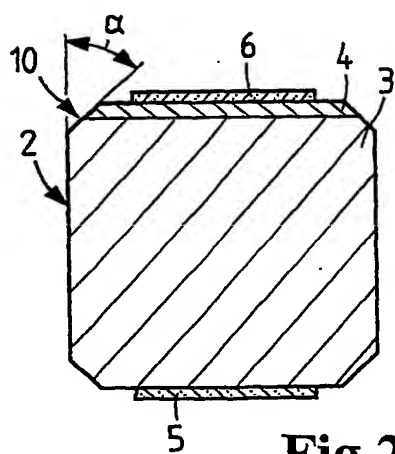
7) Piezoaktor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,  
dass

- die Kontur der jeweils nicht kontaktierten Innenelektrode korrespondierend zur Außenkontur des Piezoaktors zurückversetzt ist.

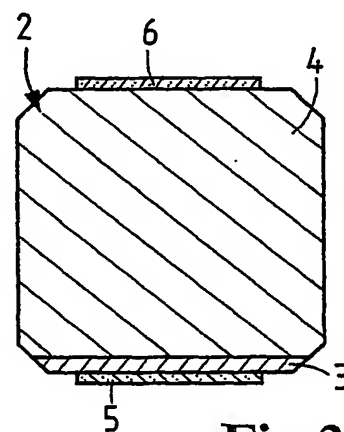
1 / 2



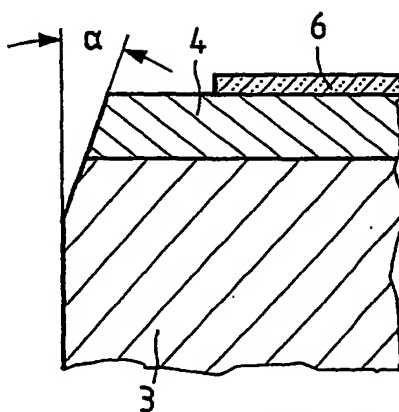
**Fig.1**



**Fig.2**



**Fig.3**



**Fig.4**

